

УДК 621.825.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПОБІЖНИХ ПРИСТРОЇВ МАШИН

І.Гевко

Асистент, канд. техн. наук,
Тернопільський державний технічний
університет ім. Івана Пулюя,
м.Тернопіль

На основі проведеного аналізу частоти спрацювання запобіжних пристроїв імпульсного типу та розробки і дослідження планетарно-кулькових захисних пристроїв запропоновано новий критерій оцінки якості їх роботи — коефіцієнт частоти спрацювання запобіжних пристроїв, який характеризує їхню дію при спрацюванні. За цим критерієм запобіжні пристрої імпульсного типу можна розділити на низькочастотні і високочастотні. При використанні в конструкціях машин низькочастотних захисних пристроїв зменшується кількість повторних включень при буксуванні, а, отже, суттєво зменшуються ударні навантаження на деталі та вузли машин.

Елементи машин від перевантажень захищають запобіжні пристрої, які розмикають кінематичний ланцюг при зростанні крутного моменту вище допустимого. Вимоги, які ставляться до них [1], визначаються коефіцієнтами точності спрацювання, динамічності, перевищення номінального навантаження, коефіцієнтом, який характеризує дію захисного пристрою при спрацюванні, часом дії запобіжної муфти від початку спрацювання до моменту спадання навантаження.

Ці вимоги найбільше задовольняють запобіжні пристрої імпульсного типу (кулачкові, кулькові, планетарно-кулькові). Точність їх спрацювання дещо вища, ніж у запобіжних муфт з руйнівним елементом та фрикційних. Однак, високі динамічні навантаження, які виникають при буксуванні традиційних кулькових та кулачкових запобіжних муфт, призводять до швидкого зношення і навіть до руйнування деталей та вузлів машин.

Виходячи з умов зменшення частоти повторних включень, відповідно зменшення ударних навантажень, був проведений структурно-схемний синтез розташування елементів зацеплення кулькових запобіжних муфт [2]. В результаті даного синтезу встановлено, що якщо форма лунки — отвір чи паз, а форма заглиблення під кульку — отвір, то максимальна кількість холостих провертань пристрою рівна одному оберту; якщо форма лунки — отвір чи паз, а форма заглиблення під кульку — паз, то кількість холостих провертань пристрою залежить від певної конфігурації паза і може зростати до безмежності.

Завдяки розробці планетарно-кулькових запобіжних муфт [3,4] вдалось забезпечити зменшення частоти повторних включень механізмів у режимі перевантаження, передачу значних крутних моментів і автоматичне відновлення робочого стану машин чи механізмів.

На рис. 1 зображений планетарно-кульковий запобіжний пристрій [3], що складається з маточини 1, на якій закріплена центральна шестерня 2. Вона входить у зацеплення з сателітами 3, які через фланці з пальцями 4 зв'язані з веденою півмуфтою 5. Фланці 4 розташовані на торцевій частині півмуфти. Між осями обертання сателітів 3 і маточини 1 на фланцях виконані лунки 8 під кульки 10, що розташовані в гніздах 9 провідної півмуфти 7. Аналогічні кульки 6 розташовані в гніздах на більшому радіусі обертання і входять у зацеплення з лунками веденої півмуфти. Величина заглиблень всіх кульок у лунки однакова. Провідна півмуфта підтиснута пружиною 11, деформація якої регулюється гайками 12. Крутний момент передають кульки 6, а кульки 10, зв'язані за допомогою лунок 8 з фланцями і планетарним механізмом, виконують роль механізму пробуксовування, знижуючи частоту повторних включень.

Муфта працює так. Момент обертання від маточини передається через провідну півмуфту за допомогою кульок 6 на ведену півмуфту. У випадку виникнення перевантаження зупиняється ведена півмуфта і сателіти. Провідна півмуфта продовжує обертатись, приводячи в рух кочення центральну шестерню, а вона, відповідно,

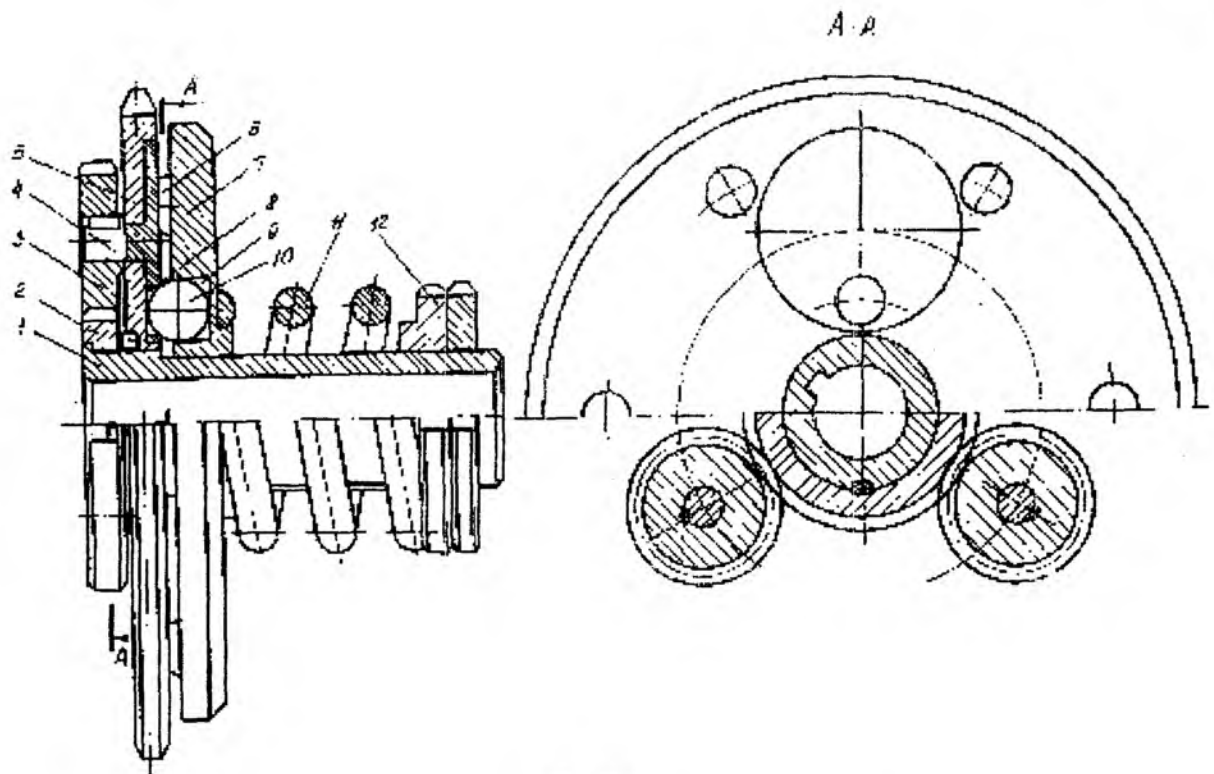


Рис. 1

сателіти, що спричиняє вихід всіх кульок з лунок на торцеву поверхню веденої півмуфти. Кількість відносних холостих обертів визначається передавальним відношенням планетарного механізму.

Аналізуючи запобіжний пристрій (рис. 1), приходимо до висновку, що коли півмуфта 5 нерухома, то виконується умова:

$$\omega_1 z_1 = \omega_2 z_2, \quad (1)$$

де ω_1 і ω_2 — кутові швидкості шестерні 2 і сателітів 3; z_1 і z_2 — кількості зубів шестерні і сателітів даного механізму.

Кутові швидкості півмуфти 7, в отворах якої розташовані кульки, і лунок 8, відповідно, будуть такі:

$$\omega_k = \omega_1; \omega_n = \omega_2. \quad (2)$$

Рівняння зв'язку між кутами провертання сателітів і шестерні, або лунок і кульок набуває вигляду:

$$\varphi = \gamma * \frac{z_1}{z_2}, \quad (3)$$

де φ — кут повороту сателітів чи лунок; γ — кут повороту шестерні чи кульок.

Робоче положення лунки — це крайнє ближче положення до осі муфти, яка має кутову координату

$$\varphi = 2\pi n_o, \quad (4)$$

де n_o — ціла кількість обертів дисків.

При повороті дисків на кут φ за період Δt кульки перемістяться на кут

$$\gamma = \gamma_0 + \omega \Delta t, \quad (5)$$

де γ_0 — початковий кут зміщення кульок ($\gamma_0 = 0$).

При цьому вони зможуть потрапити в лунки. Кількість кульок $k=3$, тому їх попадання в лунки буде відбуватися за такої умови:

$$\gamma = 2\pi \frac{m}{k}, \quad (6)$$

де m — номер лунки, в яку попадає кулька. Підставляючи рівняння (3) і (6) в рівняння (4), отримуємо:

$$n_o = \frac{z_1 m}{z_2 k}. \quad (7)$$

Залежність (7) є умовою співпадання кульок з лунками і розв'язується в цілих числах.

Задаючись кількістю холостих провертань захисного пристрою при спрацюванні, можна визначити m і n_o :

$$n_m = \frac{m}{3}; n_o = (1, \dots, m). \quad (8)$$

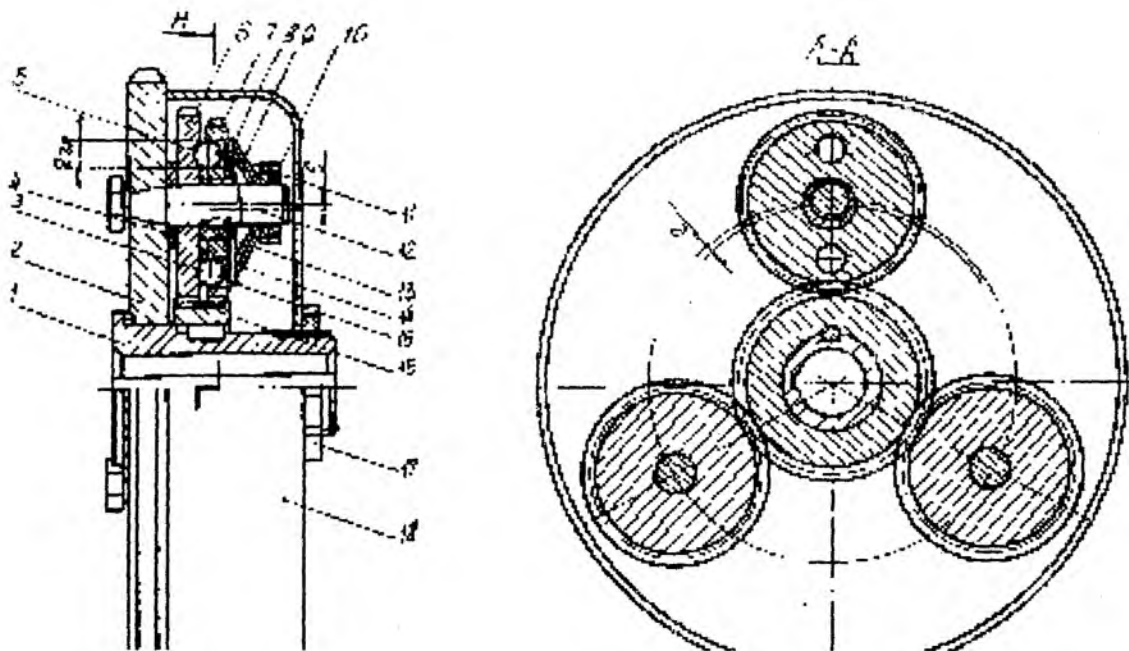


Рис. 2

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень запобіжної муфти [3] (рис. 1) і розробки інженерної методики її розрахунку встановлено, що при максимальних радіальних габаритних розмірах 110 мм, при внутрішньому діаметрі маточини 30 мм кількість холостих провертань у процесі одного спрацювання становить від 1 до 10 обертів, залежно від передавальних відношень зубчастих пар.

Низькочастотний планетарно-кульковий запобіжний пристрій [4] зображений на рис. 2. Він складається з веденої півмуфти 2, яка вільно розташована на провідній маточині 1, на якій жорстко закріплена шестерня 16. У веденій півмуфті рівномірно по колу жорстко закріплені пальці 12, на яких розташовані сателіти 6 і 7 різних діаметрів. Сателіти 7 знаходяться на ексцентричних втулках 13, осі яких зміщені відносно осей пальців у напрямку осі обертання пристрою. Величина ексцентриситету втулки вибирається з умови постійного зачеплення сателітів 7 з шестернею, з якою також входять у зачеплення сателіти 6. Ексцентричні втулки жорстко закріплені на пальцях. Сателіти взаємодіють між собою за допомогою кульок 11 і 15, які розташовані в лунках 5 і 3, виконаних на торцевій поверхні сателітів 6 і наскрізних отворах 8 і 14 сателітів 7. З іншого боку, кульки за допомогою дисків 8 підтиснуті пружинами 9, регулювання затиску яких здійснюється гайками 10. Кульки 11 і 15 розташовані на різних відстанях від осей пальців. Величина зміщення обумовлена необхідністю непопадання кульок 11 і 15 в лунки 3 і 5 при відносному провертанні сателітів на 180° . Робочі вузли муфти закриті кришкою 18, яка підтиснута гайкою 17. Між сателітами 6 і торцевою поверхнею

провідної півмуфти встановлені на пальцях 12 антифрикційні втулки 4.

При передачі крутного моменту провідна та ведена півмуфти і сателіти синхронно обертаються. У випадку виникнення перевантаження зупиняється ведена півмуфта з пальцями, а маточина і сонячна шестерня продовжують обертатися, що приводить до обертання сателітів і відносного провертання між собою. Це, у свою чергу, веде до виходу кульок з лунок і через диски до деформації пружин. Включення пристрою (рис. 2) здійснюється при певній кількості обертів провідної півмуфти залежно від передавальних відношень між сателітами і шестернею.

В запобіжній муфті (рис. 2) виконуються умови:

$$\begin{cases} \omega_1 z_1 = \omega_w z_w; \\ \omega_2 z_2 = \omega_w z_w, \end{cases} \quad (9)$$

де ω_1, ω_2 і ω_w — кутові швидкості сателітів 6, 7 та шестерні 16; z_1, z_2 і z_w — кількості зубів сателітів 6, 7 і шестерні.

Умова співпадання кульок з лунками буде виконуватись при відносному провертанні сателітів 7 відносно сателітів 6 на кут 360° за час Δt :

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi, \quad (10)$$

де

$$\begin{cases} \varphi_1 = \omega_1 \Delta t; \\ \varphi_2 = \omega_2 \Delta t. \end{cases} \quad (11)$$

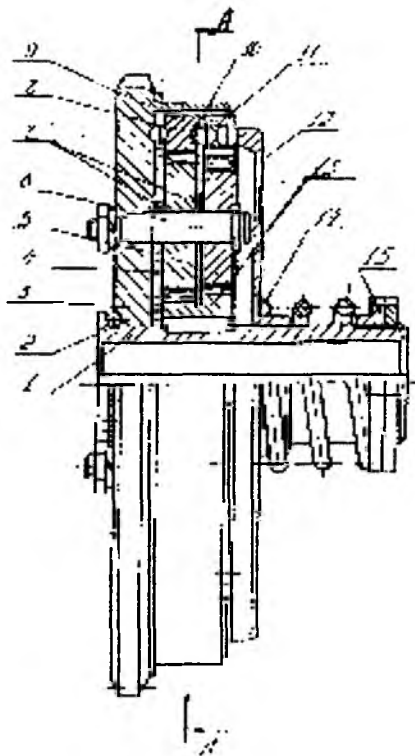


Рис. 3

Визначивши кутові швидкості сателітів з (9) і підставивши їх в (11), умова співпадання набуде вигляду:

$$\frac{\omega_{ш} z_{ш} \Delta t (z_1 - z_2)}{z_1 z_2} = 2\pi \quad (12)$$

Кількість холостих обертів захисного пристрою при спрацюванні визначається за формулою:

$$n_x = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} = \frac{z_1 z_2}{z(z_1 - z_2)} \quad (13)$$

В результаті проведення теоретичних та експериментальних досліджень запобіжної муфти [4] (рис. 2) і розробки інженерної методики її розрахунку встановлено, що при максимальних радіальних габаритних розмірах 190 мм, внутрішньому діаметрі маточини 30 мм кількість холостих провертань у процесі одного спрацювання становить від 2 до 50 обертів, залежно від передавальних відношень зубчастих пар.

Для збільшення кількості холостих провертань у процесі одного спрацювання розроблено запобіжний пристрій, зображений на рис. 3. Він складається з веденої півмуфти 2, яка вільно розташована на провідній маточині 1, на якій закріплений блок зубчастих коліс 3. У веденій півмуфті по колу закріплені пальці 6, на яких розташовані сателіти 5 і 4, що входять, відповідно, в зачеплення з блоком зубчастих коліс 3 і 13 та

зубчастими колесами 8 і 11. Між сателітами 6 та веденою півмуфтою встановлено антифрикційні втулки 7. Кульки 9, які знаходяться у наскрізних пазах колеса 11, входять у зачеплення з лунками 10, виконаними на торцевій поверхні колеса 8. З іншого боку, кульки через диск 12 підтиснені пружиною 14, величина затиску якої регулюється гайками 15.

При передачі допустимого крутного моменту провідна і ведена півмуфти знаходяться в зачепленні і синхронно обертаються. У випадку перевантаження зупиняється ведена півмуфта з пальцями, провідна півмуфта продовжує обертатися, приводячи в рух через блок зубчастих коліс сателіти, а ті, в свою чергу, приводять у рух зубчасті колеса 8 і 11. Враховуючи те, що передавальні відношення коліс 8, 3 і 11 та 13 різні, колеса 8 і 11 обертаються з різною кутовою швидкістю. Це приводить до виходу кульок з лунок і через диск до деформації пружини. Вхідження кульок у зачеплення з лунками здійснюється при певній кількості обертів провідної півмуфти залежно від передавальних відношень зубчастих пар тоді, коли колеса 8 і 11 здійснять одне відносне повернення. Це зумовлено тим, що кути γ_1 і γ_2 , під якими розташовуються елементи зчеплення на двох половинах торцевих поверхонь зубчастих коліс, є різними, тому кожна кулька може попасти в свою лунку.

Розрахунок кількості холостих провертань даного пристрою здійснюється аналогічно, як і розглянутого вище пристрою.

Кількість холостих обертів у захисному пристрої при спрацюванні визначається за формулою:

$$n_x = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} = \frac{z_5 z_6}{z_1 z_6 - z_2 z_5}, \quad (14)$$

де $z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6$ — кількості зубів шестерень 3 і 13, сателітів 5 і 4, зубчастих коліс 8 і 11.

Задаючись відповідними умовами, отримаємо:

$$\begin{cases} z_2 = z_1 + 1; \\ z_3 = (0,5 \dots 1) z_1; \\ z_4 = (0,5 \dots 1) z_1 - 1; \\ z_5 = (2 \dots 3) z_1. \end{cases} \quad (15)$$

Наприклад: при $z_1 = 40$ — $n_x = 158 \dots 178,5$; при $z_1 = 60$ — $n_x = 238 \dots 268,5$; при $z_1 = 80$ — $n_x = 318 \dots 358,5$.

Отже, зміна кількості зубів сателітів незначно впливає на кількість холостих проворотів при буксуванні, на відміну від зміни кількості зубів шестерні.

На відміну від запобіжних пристроїв [3,4], час Δt буксування даної муфти протягом одного спрацювання буде в декілька разів більшим; якщо його порівняти з часом спрацювання типових імпульсних запобіжних муфт [1], то він буде більшим в сотні і тисячі разів, що, відповідно, знизить частоту ударних навантажень на елементи машини.

Тому для визначення характеристик розглянутих конструкцій запобіжних пристроїв імпульсного типу необхідно ввести ще один коефіцієнт. Такий коефіцієнт, на наш погляд, доцільно назвати коефіцієнтом частоти спрацювання запобіжних муфт, а запобіжні пристрої імпульсного типу розділити на низькочастотні та високочастотні.

Коефіцієнт частоти спрацювання запобіжних муфт імпульсного типу:

$$\eta_r = \frac{2\pi}{\gamma}, \quad (16)$$

де γ — кут повороту провідної півмуфти від початку розчеплення елементів зачеплення до їх наступного змикання.

Отже, можна зробити висновок, що запобіжні пристрої імпульсного типу, півмуфти яких у режимі буксування за одне відносне провертання один або декілька разів змикаються, доцільно назвати високочастотними ($\eta_r \geq 1$), а ті захисні пристрої, півмуфти яких у режимі буксування змикаються за більш як одне відносне провертання — низькочастотними ($\eta_r < 1$).

Низькочастотні захисні пристрої можуть широко застосовуватися не тільки за безпосереднім призначенням, але й при механізації певних технологічних процесів у автоматизованих лініях, верстатах-автоматах та іншому технологічному обладнанні для регулювання різних дискретних процесів або їх елементів.

Література

1. Поляков В.С., Барбаш І.Д., Ряховський О.А. Справочник по муфтам/Под ред. проф. В.С.Полякова. — Л.: Машиностроение, 1979. — 343 с.
2. Нагорняк С.Г., Гевко І.Б. Синтез кулькових запобіжних муфт сільськогосподарських машин//Вісник Національного аграрного університету "Сучасні проблеми сільськогосподарського машинобудування". — Київ. — 1997. — №1. — С.14 — 15.
3. А.с. №1751530 СССР. Предохранительная муфта/И.Б.Гевко, Р.Б.Гевко, О.И.Дубик. — Оpubл. 30.07.1992, Бюл. №28,
4. А.с. СССР №1767251. Предохранительная муфта/И.Б.Гевко. — Оpubл. 07.10.1992, Бюл. №37.

Abstract. The analyses of the wearing frequency of the impulse type safety clutches is carried out in this article. As a result of it and after the development and investigation of the planetary-ball safety clutches, new coefficient which characterizes the effect of the safety clutches under wearing, was found. This is the safety clutches wearing frequency coefficient. Due to it impulse type safety clutches are divided into low-frequency and high-frequency ones. When low-frequency safety clutches are used in the machine constructions often repeated switchings while skidding decrease. So, the number of impact loading on machine parts and units decreases as well.

Інформація

30-th International society for the Advancement of Material and Process Engineering
(SAMPE) Technical Conference

San Antonio, TX, USA, October 21—24, 1998.
626/331—0616.